

Wyznaczania efektywności energetycznej urządzeń gazowych z zamkniętą i otwartą komorą spalania

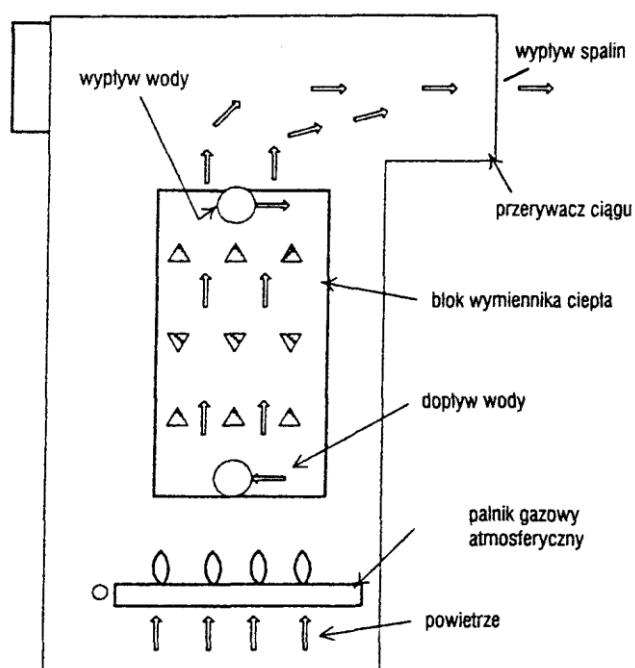
1. Kotły gazowe

Gazowy kocioł grzewczy jest to urządzenie z komorą spalania paliwa gazowego przeznaczone do wytwarzania pary (kotły gazowe grzewcze parowe) lub podgrzania wody (kotły gazowe grzewcze wodne) [1]. W kotle dochodzi do zamiany energii chemicznej zawartej w paliwie (ciepło spalania lub wartość opałowa) na energię cieplną (para lub gorąca woda). Dąży się do jak najlepszego wykorzystania energii zawartej w paliwie, czyli uzyskania jak najlepszej efektywności energetycznej.

Kotły gazowe wodne stosowane są przede wszystkim w gospodarstwach domowych jako urządzenia produkujące ciepło do centralnego ogrzewania. Obecnie często wykorzystuje się kotły dwufunkcyjne, które oprócz ogrzewania posiadają dodatkową funkcję przygotowania ciepłej wody użytkowej. Większe kotły stosowane są do ogrzewania budynków użyteczności publicznej takich jak: urzędy, szkoły, przedszkola, szpitale itp.

Głównymi elementami każdego kotła są (rys. 1.):

- palnik,
- komora spalania z wbudowanym izolowanym cieplnie od otoczenia wymiennikiem ciepła,
- króciec spalinowy,
- przewody wodne i gazowe,
- oprzyrządowanie regulacyjne i zabezpieczające pracę kotła.



Rys 1. Schemat kotła jednociągowego z palnikiem atmosferycznym [2].

Podstawowym zespołem gazowego kotła grzewczego, wpływającym w zasadniczy sposób na jego parametry energetyczne i użytkowe jest palnik, dostarczający mieszaninę paliwowo-powietrzną do komory spalania (paleniska). Sprawą bardzo istotną, niezależnie od rodzaju konstrukcji zastosowanego palnika, jest opracowanie takiej wzajemnej konfiguracji płomienia i powierzchni odbioru ciepła, aby uzyskać optymalne warunki do jego wymiany przy możliwie najwyższej czystości spalania. Za odbiór ciepła odpowiedzialny jest wydajny wymiennik ciepła, który odbiera ciepło od gorących spalin i przekazuje je do medium grzewczego (najczęściej woda).

Kotły przepływowe

Kotły przepływowe stanowią grupę kotłów, których pojemność wodna nie przekracza 10 dm³. Ich podstawową cechą charakterystyczną jest to, że każda drobina wody przepływa wzdłuż powierzchni ogrzewanej w procesie jej podgrzewania tylko jeden raz, w przeciwieństwie do kotłów konwencjonalnych, w których cząstka wody krążąc w przestrzeni wodnej mogła przepłynąć wzdłuż powierzchni ogrzewanej kilkakrotnie. Bazą konstrukcyjną tych rozwiązań są zwykle gazowe grzejniki wody przepływowej. Kotły te są najczęściej przystosowane do zawieszenia na ścianie, chociaż mają również swoje wersje stojące. Pracują wyłącznie w obiegu wymuszonym, stąd pompa obiegowa stanowi ich standardowe wyposażenie.

Są wytwarzane w dwóch wersjach, to jest:

- jednofunkcyjnej, wyłącznie jako kotły grzewcze,
- dwufunkcyjnej, jako kotły grzewcze oraz grzejniki wody przepływowej, z preferencyjną funkcją grzejnika.

Zasadniczo każdy kocioł przepływowy pracujący w układzie jednofunkcyjnym (tj. jako kocioł grzewczy) może być adoptowany do pracy dwufunkcyjnej, po wmontowaniu w układ grzewczy kotła dodatkowego wymiennika ciepła typu woda-woda. Kocioł taki pracuje przez cały rok, przy czym w okresie zimowym spełnia zarówno funkcje ogrzewania pomieszczeń jak i przygotowania ciepłej wody użytkowej z preferencją tej drugiej, zaś w lecie pracuje wyłącznie na potrzeby podgrzewania wody użytkowej, czyli jako grzejnik wody przepływowej. Praca takiego układu odbywa się całkowicie automatycznie.

Odrowadzanie spalin w takich kotłach może odbywać się na zasadzie ciągu naturalnego lub być wymuszane wentylatorem (tzw. urządzenia turbo). Zazwyczaj temperatura spalin w takich urządzeniach przekracza 100 °C, co rzutuje na wysokość ich straty kominowej a tym samym sprawności (patrz podrozdział *Straty w kotle*).

Kotły kondensacyjne

W celu optymalnego wykorzystania ciepła spalin ich temperatura na wypływie z kotła powinna być obniżona tak dalece, jak to tylko możliwe. Jak długo temperatura gazów w kanałach spalinowych kotła jest wyższa od temperatury punktu rosy, tak długo para wodna zawarta w spalinach nie ulega kondensacji i razem z pozostałymi składnikami spalin jest odrowadzana do komina. Nie skroplona para wodna unosi ze sobą utajone ciepło skraplania, które stanowi różnicę pomiędzy ciepłem spalania i wartością opałową spalanego paliwa. Przy odpowiedniej konstrukcji wymiennika ciepła i dostatecznie niskiej temperaturze wody powracającej z układu grzewczego i wpływającej do kotła można uzyskać częściowe, a nawet prawie całkowite wykroplenie pary wodnej ze spalin z równoczesnym odzyskiem utajonego ciepła skraplania (parowania), które jako użyteczne zostaje przekazane wodzie. W ten sposób sprawność cieplna kotła odniesiona do wartości opałowej, może

przekroczyć 100 %. Wynika to z relacji ciepła spalania do wartości opałowej, która dla różnych rodzajów gazów wynosi około $1,09 \div 1,13$, a dla gazów ziemnych około $1,11$. Sprawność kotła kondensacyjnego nie jest stała i zależy od temperatury wody dopływającej do kotła. Od niej bowiem zależy wielkość masy skraplającej się pary i ilość dodatkowego ciepła skraplania, które w użytecznej formie może być przekazane wodzie.

Kotły kondensacyjne ze względu na niską temperaturę spalin wylotowych ($40 \div 50$ °C) nie mogą pracować przy ciągu naturalnym, którego nie są w stanie wytworzyć. W przypadku zastosowania palników inżektorowych ciąg musi zostać wymuszony wentylatorem ciągu a przy palnikach nadmuchowych, wentylator dostarczający powietrze do spalania wytwarza w kanałach spalinowych kotła i układzie wylotowym nadciśnienie, wystarczające do usunięcia spalin poza obręb budynku.

2. Efektywność energetyczna urządzeń gazowych

Wysokie ceny energii w tym gazu ziemnego sprawiają, że eksploatacja takich urządzeń jak kotły staje się coraz droższa. Wymusza to stosowanie urządzeń nowoczesnych i energooszczędnych tak, aby koszty ich eksploatacji były jak najmniejsze. Zmniejszenie zużycia gazu w kotłach można uzyskać w głównej mierze poprzez podwyższenie ich sprawności cieplnej w możliwie całym przedziale obciążeń, zwracając szczególną uwagę, aby moc kotła była dostosowana do aktualnie występującego zapotrzebowania ciepła koniecznego do ogrzania obiektu.

Kotły są urządzeniami, w których przebiega wymiana ciepła pomiędzy spalinami powstałymi ze spalania paliw w paleniskach a wodą wypełniającą kocioł. Źródłem ciepła jest energia chemiczna paliw, która wywiązuje się w procesie ich spalania w powietrzu atmosferycznym. Spaliny przepływające wzdłuż powierzchni ogrzewanej kotła oddają jej ciepło obniżając przy tym swoją temperaturę, natomiast woda przejmując ciepło od spalin podgrzewa się do określonej temperatury końcowej zadanej przez użytkownika. Na końcu kotła (wymennika ciepła) spaliny ochłodzone do odpowiednio niskiej temperatury (lecz zawsze wyższej od temperatury otoczenia) są wydalone przez przewód kominowy do atmosfery. Proces ten jest jednak obciążony szeregiem strat, których rodzaj i przyczyny powstawania mają zasadnicze znaczenie zarówno dla projektanta jak i użytkownika. Straty ciepła występujące podczas eksploatacji kotła muszą być pokrywane spalaniem dodatkowych ilości paliwa, co w oczywisty sposób podwyższa koszty eksploatacji kotła. Wynika stąd, że ilość ciepła wykorzystanego w kotle do podwyższenia temperatury strumienia wody jest zawsze mniejsza od ilości ciepła dostarczonego do kotła w postaci energii chemicznej paliwa o wielkość strat występujących w urządzeniu.

Sprawność cieplna kotła gazowego

Sprawność cieplną urządzenia gazowego określa się jako stosunek jego mocy cieplnej do mocy cieplnej dostarczanej do urządzenia w postaci entalpii chemicznej gazu (obciążenia cieplnego palnika), najczęściej wyraża się ją w procentach a oblicza się ze wzoru [3]:

$$\eta_k = \frac{P_n}{P_d} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- η_k – sprawność cieplna kotła, %
- P_n – moc cieplna kotła, kW
- P_d – moc cieplna dostarczana w paliwie (obciążenie cieplne palnika), kW

Jeżeli pominąć stratę niezupełnego spalania, która w kotłach gazowych ma bardzo małe wartości, to sprawność cieplną kotła wodnego definiuje się również przy pomocy wzoru [4]:

$$\eta_k = 100 - (S_w + S_{ot}) \quad (2)$$

gdzie:

- S_w – strata wylotowa (kominowa), %
- S_{ot} – strata do otoczenia, %

Moc cieplna kotła wyraża się wzorem [4]:

$$P_n = \dot{m} \cdot \overline{c_w} \cdot (T_{wy} - T_{wl}) \quad (3)$$

gdzie;

- P_n – moc cieplna kotła, kW
- \dot{m} – strumień masy wody przepływającej przez kocioł, kg/s
- $\overline{c_w}$ – średnie ciepło właściwe wody w przedziale temperatur $\langle t_{wl}; t_{wy} \rangle$, kJ/kgK
- T_{wl} – temperatura wody wpływającej do kotła, K
- T_{wy} – temperatura wody wpływającej do kotła, K

Moc cieplną dostarczoną w paliwie jest równa mocy cieplnej palnika i wyraża się wzorem [4]:

$$P_d = \dot{V}_p \cdot H_i \quad (4)$$

gdzie:

- P_d – moc cieplna dostarczana w paliwie, kW
- \dot{V}_p – strumień objętościowy gazu dostarczany do palnika, m³/s
- H_i – wartość opałowa gazu, kJ/m³

Straty w kotle

W kotłach gazowych można wyróżnić następujące rodzaje strat:

- stratę kominową,
- stratę niezupełnego spalania,
- stratę ciepła do otoczenia.

Strata kominowa

Stratę kominową wyraża w stosunku procentowym tą część energii cieplnej paliwa, która jest unoszona przez spaliny do komina na skutek określonej wyższej od otoczenia temperatury spalin. Entalpia spalin opuszczających kocioł jest zwykle wykorzystana do wytwarzania ciągu kominowego i pokonania oporów aerodynamicznych w kanałach spalinowych kotła, czopucha i komina.

Stratę wylotową można obliczyć z zależności [2]:

$$S_w = \frac{V_s \cdot \overline{c_p} \cdot (T_{sw} - T_{ot})}{H_i} \quad (5)$$

gdzie:

- V_s – ilość spalin, m³

- \bar{c}_p – średnie ciepło właściwe spalin kJ/(m³K)
 T_{sw} – temperatura spalin na wylocie, K
 T_{ot} – temperatura otoczenia, K
 H_i – wartość opałowa paliwa, kJ/m³

W sposób uproszczony z dokładnością do 2 % wyznacza się ją przy pomocy wzoru Siegert'a [2]:

$$S_w = (T_{sw} - T_{ot}) \cdot \left(\frac{A}{[CO_2]} + B \right) \quad (6)$$

gdzie:

- $[CO_2]$ – udział objętościowy dwutlenku węgla w spalinach suchych, -
 A, B – współczynniki zależne od rodzaju paliwa (podane w tabeli 1), -

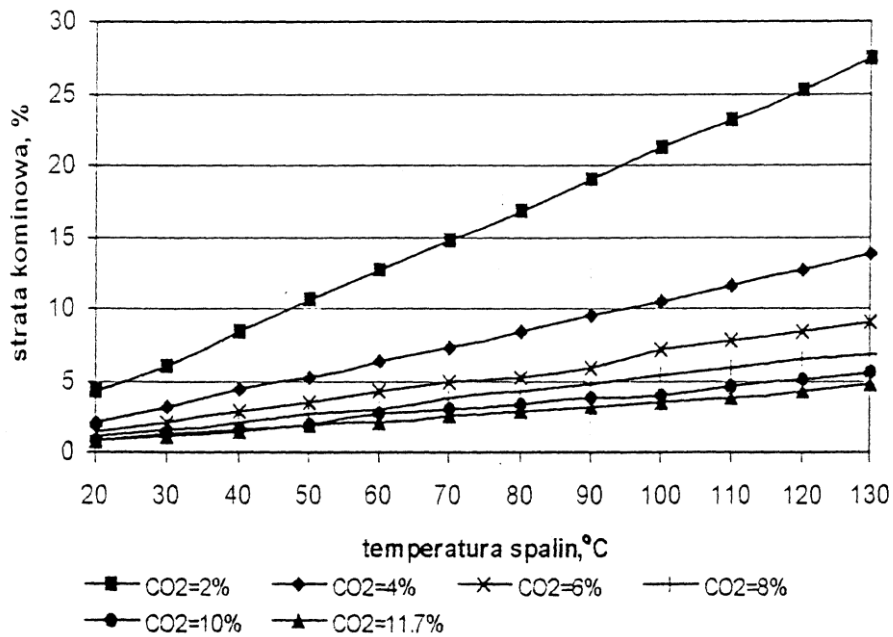
Tabela 1. Wartości współczynników A i B we wzorze (6) dla różnych gazów [2].

Rodzaj gazu:	Wartości współczynników:	
	A	B
Gazy ziemne – wszystkie podgrupy GZ 25 ÷ GZ 50	0,386	0,0077
Gaz sztuczny Podgrupa GS 25	0,372	0,008
Gaz sztuczny Podgrupa GS 30	0,305	0,0087
Gaz płynny propan butan	0,42	0,008

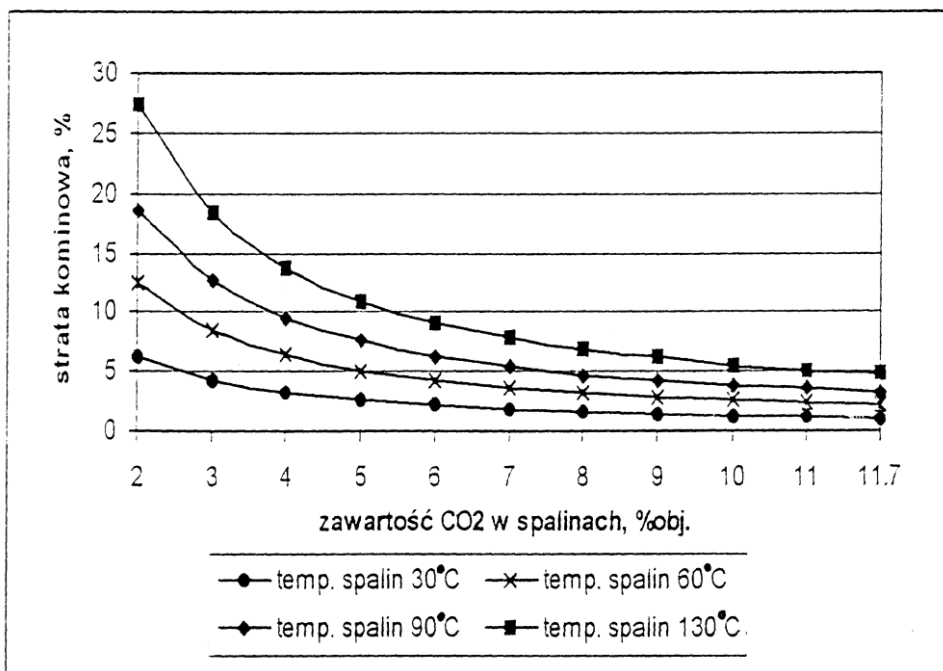
Jak wynika z wzoru (6), decydujący wpływ na wielkość straty kominowej mają:

- temperatura spalin,
- zawartość dwutlenku węgla w spalinach.

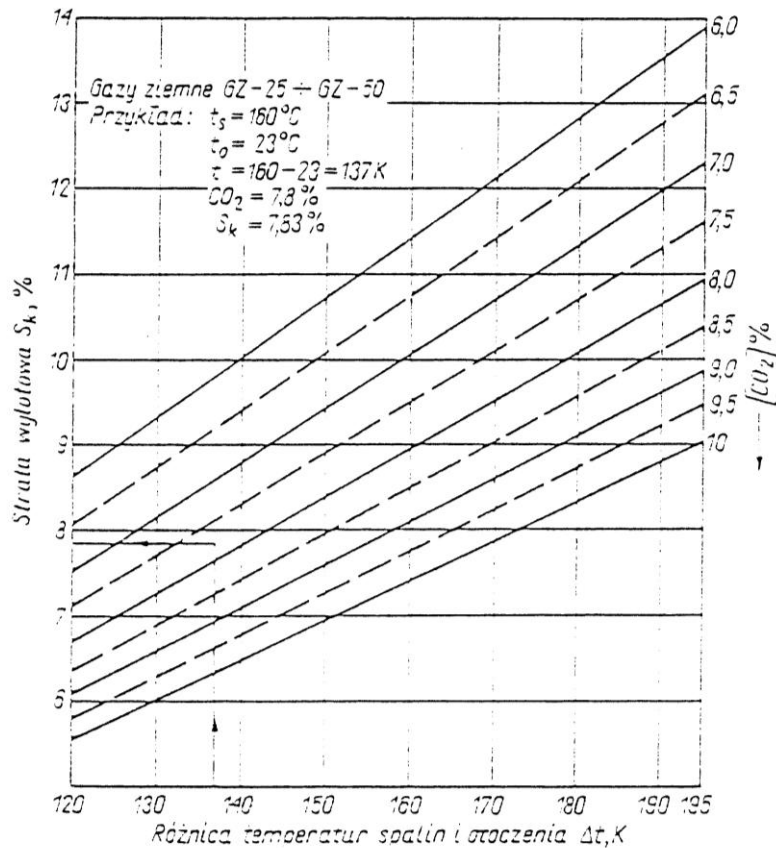
Na rys. 2 i 3 przedstawiono wykresy zależności straty wylotowej od temperatury spalin, zawartości CO₂ w spalinach oraz zawartości CO₂ i różnicy temperatur spalin i otoczenia. Znajomość temperatury spalin i zawartości CO₂ w spalinach umożliwia odczyt wartości straty wylotowej z odpowiedniego wykresu (rys. 4).



Rys. 2. Zależność straty wylotowej od temperatury spalin [5] (dla stałej zawartości CO₂ w spalinach).



Rys. 3. Zależność straty kominowej od zawartości CO₂ w spalinach (dla stałej temperatury spalin) [5].



Rys. 4. Wykres zależności straty wylotowej od zawartości CO_2 w spalinach i różnicy temperatury spalin i otoczenia dla gazów ziemnych [2].

Strata niepełnego spalania

Strata niepełnego spalania powstaje na skutek obecności w spalinach przede wszystkim tlenku węgla, jako produktu niepełnego utleniania pierwiastka węgla do dwutlenku węgla. Stratę tą nazywa się też stratą wylotową utajoną i oblicza się ją ze wzoru [2]:

$$S_n = \frac{V_{ss} \cdot [CO] \cdot 12642}{H_i} \cdot 100 \quad (7)$$

gdzie:

- S_n – strata niepełnego spalania, %
- V_{ss} – objętość spalin suchych, powstałych ze spalania 1 m^3 suchego gazu, -
- $[CO]$ – udział objętościowy tlenku węgla w spalinach suchych, -
- H_i – wartość opałowa paliwa, kJ/m^3
- 12642 – ciepło spalania tlenku węgla, kJ/m^3

Strata ta, choć istotna z punktu widzenia poprawności spalania nie stanowi poważnej procentowej wartości w stosunku do całkowitej mocy cieplnej kotła. Przykładowo, przy krańcowo niekorzystnych warunkach spalania, to jest gdy spaliny pochodzące ze spalania gazu ziemnego GZ-50 zawierają maksymalną dopuszczalną normą zawartość tlenku węgla na poziomie 0,1% to strata

niezupełnego spalania wynosi 0,36%. Prowadzone badania wykazały, że dla zdecydowanej większości kotłów strata nie przekracza wartości 0,09 % i może być w praktyce pominięta [5].

Strata ciepła do otoczenia

Strata ciepła do otoczenia jest stratą wynikającą z utraty ciepła przez ściany kotła do pomieszczenia, w którym jest zainstalowany [5].

Podczas pracy kotła temperatura zewnętrznych ścian obudowy, na skutek przewodzenia ciepła przez warstwę izolacji, jest wyższa od temperatury pomieszczenia, w którym kocioł pracuje. W tych warunkach w wyniku promieniowania i konwekcji część ciepła dostarczonego w paliwie jest tracona, przy czym strata ta jest proporcjonalna do wielkości powierzchni ścian oraz różnicy temperatur obudowy i otoczenia. Znaczący udział ma tutaj strumień ciepła oddawany przez promieniowanie w kierunku podłogi pod kotłem [5].

Strata ta może być obliczona z zależności [5]:

$$Q_x = A_x \cdot \alpha \cdot (T_m - T_o) \quad (8)$$

gdzie:

- Q_x – strumień ciepła tracony przez dany element powierzchni, W
- A_x – powierzchnia danego elementu, m²
- α – współczynnik przejmowania ciepła, W/m²K
- T_m – średnia temperatura danego elementu powierzchni, K
- T_o – średnia temperatura w pomieszczeniu, K

Strata ciepła do otoczenia w zależności od konstrukcji kotła (rodzaju użytej izolacji i jej grubości) waha się w granicach od 2 do 6 % i dla danego typu kotła jest zależna od zewnętrznej temperatury obudowy wynikającej ze średniej temperatury wody w kotle. Przy właściwie wykonanej izolacji jest stosunkowo niewielka i można ją zredukować do poziomu 2-3 % [5].

Sprawność całoroczna

O ekonomice eksploatacji systemu grzewczego decyduje nie sprawność znamionowa kotła, co sprawność odniesiona do całego okresu eksploatacji systemu grzewczego, która uwzględnia stratę postojową kotła oraz ilość godzin eksploatacji palnika w sezonie [2].

Jeżeli konwencjonalną sprawność (wzór 2) rozszerzyć o człon uwzględniający przedziały czasowe pracy palnika i czasu ponownego włączenia (cykl pracy), to można wprowadzić pojęcie sprawności w danym cyklu η_c , będącej stosunkiem [4]:

$$\eta_c = \frac{\text{strumień energii użytecznej w danym cyklu}}{\text{strumień energii wprowadzonej w danym cyklu}} \quad (9)$$

Jeśli strumień energii użytecznej wynosi $P_n \cdot \Delta\tau_E$ a strumień energii doprowadzonej jest równy $P_d \cdot \Delta\tau_E + P_B \cdot \Delta\tau_A$ to sprawność w danym cyklu można wyrazić wzorem [4]:

$$\eta_c = \frac{P_n \cdot \Delta\tau_E}{P_d \cdot \Delta\tau_E + P_B \cdot \Delta\tau_A} \quad (10)$$

gdzie:

- P_n – moc cieplna kotła, kW
 P_d – moc cieplna dostarczona w paliwie (moc cieplna palnika), kW
 P_B – strumień ciepła na utrzymanie stałej temperatury wody w okresie gotowości kotła do włączenia, kW
 $\Delta\tau_E$ – okres pracy palnika, s
 $\Delta\tau_A$ – okres wyłączenia palnika, s

Po odpowiednich przekształceniach otrzymujemy wzór w postaci [4]:

$$\eta_c = \frac{\eta_k}{1 + q_B \cdot \frac{\Delta\tau_A}{\Delta\tau_E}} \cdot 100 \quad (11)$$

gdzie:

- η_k – sprawność cieplna kotła, %
 q_B – strata postojowa, %

Strata postojowa

Powszechnym sposobem regulacji mocy cieplnej gazowych kotłów grzewczych jest tak zwana regulacja dwustawna, polegająca na automatycznym okresowym załączaniu i wyłączaniu palnika pracującego ze stałą mocą (pełna lub częściową, np. w palnikach dwuzakresowych lub w układach z podziałem zespołu palnikowego na sektory), przy czym obniżanie temperatury wody w kotle powoduje wydłużenie czasu przerw kosztem czasu pracy palnika i odwrotnie [3].

Strata postojowa kotła jest związana z oddawaniem ciepła w czasie postoju (wyłączenie palnika) i nagrzewaniem kotła po ponownym uruchomieniu palnika. Strata występuje w wyniku oddawania ciepła zawartego w podgrzanej w kotle wodzie. Wyróżnić można dwa źródła strat energetycznych [4]:

- wychłodzenie wewnętrzne inicjowane przez strumień powietrza przepływający przez kanały kotła,
- wychłodzenie zewnętrzne wynikające z oddawania ciepła do otoczenia.

W przerwach pracy palnika powietrze o temperaturze otoczenia dostaje się do komory spalania, a dalej przepływając przez kanały spalinowe kotła odbiera konwekcyjnie ciepło od ścian powierzchni ogrzewanej i przez przerywacz ciągu unosi je do komina. Równocześnie ciepło jest tracone przez ściany kotła na rzecz otoczenia. Tak więc przez cały okres pracy kotła, niezależnie od tego czy palnik pracuje czy nie, kocioł traci na rzecz otoczenia pewną ilość ciepła zwaną właśnie stratą postojową lub stratą gotowości ruchowej [5].

Strata ta jest trudna do teoretycznego obliczenia z wystarczającą dokładnością i dlatego jest wyznaczana praktycznie na stanowisku doświadczalnym.

Stratę postojową (gotowości ruchowej) definiuje się jako stosunek straty ciepła na utrzymanie w przedziale czasowym $\Delta\tau_A$ (okres wyłączenia palnika w sekundach) stałej temperatury wody w kotle do mocy cieplnej palnika w czasie jego pracy [4]:

$$q_B = \frac{P_B}{P_d} \cdot 100 \quad (12)$$

gdzie:

- q_B – strata postojowa, %
- P_B – strumień ciepła na utrzymanie stałej temperatury wody w okresie gotowości kotła do włączenia, kW
- P_d – moc cieplna dostarczona w paliwie (moc cieplna palnika), kW

Inaczej strata ta jest określana jako ta część mocy cieplnej doprowadzonej w paliwie, jaka jest niezbędna do utrzymania temperatury kotła (wody w kotle) na określonym poziomie, bez poboru ciepła z kotła do celów ogrzewczych. Zgodnie z warunkami pomiaru jest to stosunek ilości paliwa zużytego w czasie pomiaru na pokrycie badanych strat do iloczynu strumienia paliwa dla nastawionej mocy palnika i czasu trwania pomiaru. Obliczenia straty postojowej q_B na podstawie danych z pomiaru przeprowadza się zgodnie z tą definicją według zależności [5]:

$$q_B = \frac{V_g}{B \cdot \tau} \cdot 100 \quad (13)$$

gdzie:

- V_g – zużycie paliwa w czasie trwania pomiaru, nm^3
- B – godzinowy strumień paliwa przy nastawionej mocy nominalnej, nm^3/h
- τ – czas pomiaru, h

Wartość straty postojowej największych kotłów o dobrej izolacji z odcinaniem klapą połączenia kotła z atmosferą sięga zaledwie 0,05 % ÷ 0,2 %. Natomiast małe kotły z palnikami atmosferycznymi mają stratę postojową 1,0 ÷ 5,0 %, spowodowaną poborem gazu w palniku zapalającym, który pali się nawet wtedy, gdy zgaśnie palnik główny [2]. Dla kotłów z dwustawną regulacją temperatury i nieprawidłowo dobranych pod względem rzeczywistego zapotrzebowania na ciepło mogą sięgać nawet 13 % [5].

Duże znaczenie ma odpowiedni dobór kotła pod względem rzeczywistego zapotrzebowania na ciepło. W źle dobranym kotle okresy grzania są znacznie krótsze, co powoduje zwiększenie straty postojowej a tym samym sprawności całorocznej. Instalowany system grzewczy powinien działać w zakresie możliwie najwyższych stopni wykorzystania, czasami lepiej jest dobrać kocioł o mniejszej mocy w stosunku do maksymalnych potrzeb, co tylko przez parę dni w roku powoduje niedogrzenie, ale za to uzyskuje się o korzystniejszą efektywność energetyczną. Tymczasem kotły eksploatowane w kraju są w większości kotłami przewymiarowanymi w stosunku do potrzeb

3. Pomiar efektywności energetycznej urządzeń gazowych

Sprawność cieplną η_u gazowego przepływowego ogrzewacza wody wyznacza się na podstawie wzoru:

$$\eta_u = 100 \cdot \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{V_\eta \cdot H_i} \quad [\%] \quad (14)$$

- gdzie: m – masa wody pobranej w czasie badania [kg],
 c_p – ciepło właściwe wody wynoszące $4,186 \cdot 10^3$ [MJ/(kg·K)],
 ΔT – wzrost temperatury wody [K],

V_{η} – objętość gazu suchego zużytego podczas badania przez ogrzewacz [m^3],

H_i – wartość opałowa stosowanego gazu [MJ/m^3].

W przypadku laboratorium Wydziału Energetyki i Paliw pomiar sprawności odbiega nieco od zasad stosowanych według stosownych norm dotyczących urządzeń gazowych, jednak nie wpływa to na istotę prowadzonego pomiaru (główne równice dotyczą stosowanych gazów do pomiarów). Każde urządzenie zasilane jest gazem ziemnym z sieci przy zadanym obciążeniu. Zazwyczaj pomiar prowadzi się dla obciążenia nominalnego i minimalnego, jednak istnieje również możliwość pomiaru dla zadanej temperatury wody grzewczej. Temperaturę wody mierzy się bezpośrednio przed przyłączem wlotowym i wylotowym. Pomiar sprawności wykonuje się dla 50 kg wody, odczytując temperaturę wody na wlocie i wylocie co ok. 5 kg, a do wyznaczenia różnicy temperatury przyjmuje się uśrednione ich wartości. Do ilości zużytego gazu podczas pomiaru wykorzystuje się gazomierz, w który wyposażone jest stanowisko pomiarowe, należy jednak pamiętać aby skorygować objętość gazu do warunków normalnych.

Literatura

1. Praca zbiorowa, Instalacje gazowe, COBO-PROFIL W-wa 1996
2. Rataj Z.L., *Kotły gazowe*, Rynek Instalacyjny 2000, 9, 71-77
3. Kapitaniak A. Deczyński S., *Sprawność cieplna kotła gazowego*, Rynek Instalacyjny 1999, 8, 40-44
4. Radwan W., *Opracowanie metodyki badań eksploatacyjnych dla gazowych urządzeń grzewczych*, Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa Kraków
5. Kowalski Cz., *Gospodarka Paliwami i energią* 1990, 8, 11
6. Kowalski Cz., *Kotły gazowe centralnego ogrzewania, wodne niskotemperaturowe*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1992